

**ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВЕННОГО И КОЛИЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА КОМПОНЕНТОВ БЕТОНА НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА САМОУПЛОТНЯЮЩЕЙСЯ БЕТОННОЙ СМЕСИ**

**ВПЛИВ ЯКІСНОГО І КІЛЬКІСНОГО СКЛАДУ КОМПОНЕНТІВ БЕТОНУ НА ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ БЕТОННОЇ СУМІШІ, ЗДАТНОЇ ДО САМОУЩІЛЬНЕННЯ**

**INFLUENCE QUALITY AND QUANTITY OF CONCRETE COMPONENTS ON TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF SELF-COMPACTING CONCRETE**

**Шмуклер В.С., д.т.н., проф.** (Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А.Н. Бекетова, г. Харьков), **Бугаевский С.А., к.т.н., доц.** (Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, г. Харьков), **Никулин В.Б., гл. инженер** (ОДО «Жилстрой-2», г. Харьков), **Ямковая Т.И. зав. лаборатории** (ОДО «Жилстрой-2», г. Харьков)

**Шмуклер В.С. д.т.н., проф.** (Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, м. Харків), **Бугаєвський, к.т.н., доц.** (Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків), **Нікулін В.Б. гол. інженер** (ТДВ «Жилбуд-2», м. Харків), **Ямкова Т.І., зав. лабораторії** (ТДВ «Жилбуд-2», м. Харків)

**Shmukler V., dts, professor** (O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, c. Kharkiv), **Bugaevsky S., cts, associate professor** (Kharkiv National Automobile and Highway University, c. Kharkiv), **Nikulin V., chief engineer** (company "Gilbud-2», c. Kharkiv), **Yamkova T., laboratory chief** (company «Gilbud-2», c. Kharkiv)

**Приведены результаты экспериментальных исследований по подбору составов самоуплотняющегося бетона**

**Наведено результати експериментальних досліджень по підборі складів бетону, здатного до самоущільнення**

**The results of experimental studies on the selection of compositions SCC**

**Ключевые слова:**

Бетон, самоуплотнение.

Бетон, самоущільнення.

## Concrete, self-compacting.

**Вступление.** В последнее время в Украине широко используют монолитный бетон при строительстве различных зданий и сооружений. Для уменьшения собственного веса и снижения материалоемкости устройства элементов железобетонных конструкций (перекрытий, вертикальных конструкций и фундаментов) применяют легкие неизвлекаемые вкладыши-пустотобразователи различной формы.

**Анализ последних исследований.** Основной технологией устройства облегченных железобетонных перекрытий является бетонирование в две стадии [1-3]. Суть данной технологии заключается в следующем. На заранее выставленную опалубку производят раскладку арматуры нижнего слоя и ребер перекрытия, с последующим выполнением первого цикла бетонирования (нижний слой до уровня установки вкладышей). После установки вкладышей и арматуры верхнего слоя – второй цикл бетонирования (ребра и верхний слой).

Для обеспечения возможности бетонирования всей конструкции сразу и проверки формирования нижней полки под вкладышем предложено усовершенствование технологии устройства перекрытия, заключающееся в создании дополнительных пяти отверстий в каждом вкладыше диаметром 100 мм в середине и по углам [4]. При этом вкладыши ограничивают размерами в плане 0,8-1,2 м×0,8-1,2 м и высотой 0,1-0,5 м. Фиксацию положения вкладышей обеспечивает поперечная арматура второстепенных балок, которую загибают по месту. Сохранение необходимой толщины нижней полки плиты достигается путем закрепления арматурных изделий к опалубке вязальной проволокой, тем самым решая и проблему отсутствия всплытия вкладышей при бетонировании. Укладка бетонной смеси осуществляется до верхнего уровня вкладышей с уплотнением при помощи вибраторов. Одновременно контролируется толщина защитного слоя арматурной сетки через отверстия в призмах вкладышей, через которые дополнительно уплотняют бетонную смесь. После этого осуществляется бетонирование верхнего слоя плиты.

Оба варианта значительно усложняют технологию устройства облегченных конструкций за счет второго этапа арматурных и бетонных работ и за счет очень трудоемкой технологии укладки и уплотнения бетонной смеси для формирования нижнего слоя перекрытия.

Применение самоуплотняющегося бетона (СУБ) для устройства облегченных конструкций позволяет значительно ускорить процесс бетонирования путем укладки бетонной смеси в один этап. В этом случае отсутствуют перерыв в бетонировании и ожидание набора прочности бетоном нижней полки перекрытия, а также вынужденный разрыв, необходимый для установки верхней арматурной сетки перекрытия. Одними из наиболее важных моментов является отказ от уплотнения бетонной смеси, т.к. она обладает высокой подвижностью, что обеспечивает ее растекание и

уплотнение под действием собственного веса, а также заполнение бетонной смесью всего объема пространства под захороняемым вкладышем. Как следствие, снижаются затраты времени на формирование верхней поверхности перекрытия в связи со способностью СУБ к самовыравниванию. Отсутствует также технологический шов между слоями бетона, уложенного в две стадии.

**Постановка цели и задачи исследования.** Целью исследования является подбор составов самоуплотняющегося бетона на добавках-суперпластификаторах разных производителей для бетонирования облегченных конструкций. Поставленная цель предусматривает решение таких задач:

- определение соотношения различных компонентов для получения самоуплотняющейся бетонной смеси со следующими основными показателями [5]: расплыв конуса (растекаемость) – не менее 600 мм, время достижения диаметра расплыва 500 мм – не более 20 сек, время прохождения через V-образную воронку – 10-20 сек;

- оценка влияния различных компонентов самоуплотняющейся бетонной смеси на основные показатели, обеспечивающие возможность применения для устройства облегченных железобетонных конструкций.

**Методика исследования.** Для проведения лабораторных исследований с целью получения самоуплотняющейся бетонной смеси были применены приборы для определения удобоукладываемости (расплыв конуса без и с блокировочным кольцом), вязкости ( $T_{500}$ , V-образная воронка), способности преодолевать препятствия (L-образный ящик с тремя арматурными стержнями) и устойчивости к расслоению (круглое сито из перфорированного металла, с 5 мм квадратными отверстиями, диаметром 300 мм и высотой 40 мм). Приведенный набор приборов соответствует нормативным документам [5, 6].

**Результаты исследований.** Достигнуть эффекта самоуплотнения можно двумя способами проектирования состава смеси [7]:

- введением в состав бетонной смеси необходимого количества частиц мелкой фракции (минеральные добавки);
- использованием модификатора вязкости, что позволяет изготавливать СУБ на обычных материалах без использования мелкофракционных наполнителей. Такой бетон называется смарт-динамическим бетоном (название запатентовано концерном BASF).

Все исследования проводились в лаборатории, функционирующей на базе участка железобетонных изделий ОДО Жилстрой-2 в г. Харькове. Для подбора состава СУБ были использованы следующие материалы:

- портландцемент ПЦ П/А-Ш-400Р производства ПАО «Евроцемент-Украина»;

- минеральная добавка (МД) шлак гранулированный молотый высшего сорта (1-40 микрон, удельная поверхность 4-5 тыс. м<sup>2</sup>/г) производства “Innotek Bud», г. Харьков;
- мелкий заполнитель – песок ПАО «Кременчугский речной порт» и АО «Харьковское карьероуправление» (табл. 1 и 2);
- крупный заполнитель – щебень фр. 5-10 мм с карьера ОАО «Новополтавский карьер» Запорожская обл. и фр. 5-20 мм с карьера «Трудовое карьероуправление», Запорожская обл. (табл. 3);

Таблица 1

## Физико-механические свойства песка

№	Наименование характеристики	Един. изм.	Значение	
			Песок №1	Песок №2
1	Модуль крупности песка	%	1,6	0,9
2	Насыпная плотность	кг/м <sup>3</sup>	1300	1360
3	Содержание глины в комках	%	-	-
4	Содержание пылеватых и глинистых частиц	%	0,3	1,5
5	Средняя плотность зерен	г/см <sup>3</sup>	2,6	2,6
6	Влажность	%	4,0	4,5

Таблица 2

## Зерновой состав песка

Диаметр сит (Песок №1):	5,0	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	<0,16
Ч.о., %	-	-	0,6	4,1	52,0	38,6	4,7
П.о., %	-	-	0,6	4,7	56,7	95,3	100
Диаметр сит (Песок №2):	5,0	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	<0,16
Ч.о., %	-	-	0,1	0,1	17,8	57,7	24,3
П.о., %	-	-	0,1	0,2	18,0	75,7	100

Таблица 3

## Физико-механические свойства щебня

№	Наименование характеристики	Един. изм.	Значение	
			фр. 5-10	фр. 5-20
1	Содержание зерен пластинчатой и игольчатой формы	%	17	20
2	Содержание пылеватых и глинистых частиц	%	0,7	0,5
3	Содержание зерен слабых пород	%	2,6	5,0
4	Марка по дробимости	-	1200	1200
5	Насыпная плотность	кг/м <sup>3</sup>	1310	1360
6	Марка по морозостойкости	-	300	300

- суперпластификаторы на основе поликарбоксильного эфира – добавка Stacheplast 156 фирмы STACHEMA, Muraplast FK 59 фирмы MC-Bauchemie и добавка MasterGlenium 116 фирмы BASF.

Одним из главных компонентов для получения СУБ являются суперпластификаторы на основе поликарбоксильного эфира. Корректировку свойств бетонной смеси при подборе состава рекомендуют производить путем изменения расхода суперпластификатора. В связи с чем, проводились консультации с представителями фирм-производителей, а на основании их информации выбирались наиболее приемлемые диапазоны применения добавок для получения СУБ. При подборе составов установлены оптимальные значения для каждой добавки применительно к данным каменным материалам и цементу. При этом при меньшей дозировке добавки от предложенной наблюдались расслоения бетонных смесей за счет «лишней» воды и водоотделения. При высокой дозировке добавки (1,5-2,0 %) происходило увеличение вязкости бетонной смеси, приводящее к возрастанию времени достижения диаметра расплыва 500 мм и к значительной разнице в диаметре расплыва конуса без и с блокировочным кольцом (25-30 мм).

В соответствии с нормативными документами [5], ориентировочный расход минеральной добавки в виде гранулированного доменного шлака составляет 30-50 % от массы цемента. В ходе подбора состава самоуплотняющейся бетонной смеси расход минеральной добавки принимался равным 50 %, 30 % и 20 % по отношению к расходу цемента. Наиболее оптимальным оказалось соотношение 20 %, т.к. при большем соотношении замедлялось схватывание бетонной смеси, что увеличивало риск расслоения, а также резко увеличивало расход воды ( $V/(Ц+МД)=0,51-0,55$ ). При этом расплыв конуса не превышал 500-550 мм, а время достижения диаметра расплыва 500 мм составляло 15-20 сек.

Для обеспечения требований к СУБ по способности бетонной смеси преодолевать препятствия (L-образный ящик с тремя арматурными стержнями) было увеличено содержание цементного теста (цемент + минеральная добавка) с  $400 \text{ кг/м}^3$  до  $480 \text{ кг/м}^3$ , что соответствует рекомендациям  $450-600 \text{ кг/м}^3$  [5].

В ходе исследования стала очевидной невозможность приготовления состава СУБ с применением крупного заполнителя в виде щебня фракции 5-20 мм, т.к. соотношение фракций 5-10 и 10-20 мм было нестабильно при поставке щебня из карьеров в разных партиях. В некоторых партиях щебня фракция 5-10 мм составляла не более 20 % от общей массы, что приводило к неравномерному распределению частиц по размеру и значительно снижало показатели расплыва, текучести и проходимости СУБ через арматурные стержни.

Применение в качестве мелкого заполнителя Безлюдовского песка с модулем крупности 0,9 привело к повышению расхода воды до  $V/(Ц+МД)=0,63$ , а также к сильному расслаиванию бетонной смеси с явными признаками осаждения растворной части.

На основании лабораторных испытаний были подобраны следующие составы СУБ и получены основные показатели самоуплотняющихся бетонных смесей (табл. 4 и 5).

Основные лабораторные испытания по подбору состава СУБ представлены на рис. 1.

Таблица 4

Составы СУБ (на 1 м<sup>3</sup> бетона)

№	Компоненты	Состав №1	Состав №2	Состав №3
1	Цемент	390	400	400
2	Минеральная добавка (МД)	78	80	80
3	Щебень фр. 5-10	840	850	850
4	Песок модуль крупности 1,6	840	900	900
5	Вода	200	220	225
6	Суперпластификатор	4,68 кг (1 % от (Ц+МД)) Stacheplast 156	4,8 кг (1 % от (Ц+МД)) FK 59	3,36 кг (0,7 % от (Ц+МД)) MG116
7	$V/(Ц+МД)$	0,43	0,46	0,47

Таблица 5

Показатели самоуплотняющейся бетонной смеси

№	Наименование показателя	Значение показателя (класс)		
		Состав №1	Состав №2	Состав №3
1	Удобоукладываемость, РК, мм	675 (SF2)	640 (SF2)	690 (SF2)
2	Удобоукладываемость (с блокировочным кольцом), РК <sub>кольцо</sub> , мм	675 (-)	630 (-)	670 (-)
3	Вязкость, T <sub>500</sub> , сек	2,0 (VS2)	4,8 (VS2)	2,0 (VS2)
4	Вязкость, t <sub>воронки</sub> , сек	4,9 (VF1)	8,0 (VF1)	6,2 (VF1)
5	Способность преодолевать препятствие (с тремя арматурными стержнями)	0,91 (PA2)	0,93 (PA2)	0,80 (PA2)
6	Устойчивость к расслаиванию, %	5 (SR2)	8 (SR2)	12 (SR2)
7	Прочность на сжатие, образцы кубу 100x100x100 мм (3 сутки), R <sub>сж</sub> , кг/см <sup>2</sup>	330	285	188
8	Прочность на сжатие, образцы кубу 100x100x100 мм (28 сутки), R <sub>сж</sub> , кг/см <sup>2</sup>	456 (C30/35)	471 (C30/35)	359 (C20/25)



Рис. 1. Лабораторные испытания бетонной смеси: а) – определение расплыва конуса без кольца; б) – определение расплыва конуса с блокировочным кольцом; в) – испытание бетонной смеси в L-образном ящике; г) – испытание с использованием V-образной воронки; д) – испытание на устойчивость к расслаиванию путем просева через сито

С использованием данных ингредиентов не удалось получить расплыв конуса бетонной смеси превышающий 700 мм. Одним из методов повышения этого показателя является, применение кубовидного щебня и песка с большим модулем крупности [5].

В бетонах класса С20/25-С30/35 (с относительно небольшим расходом цемента и минеральной добавки) для обеспечения необходимой связности в системе и предотвращения расслаивания рекомендуется использовать модификаторы вязкости. При этом необходимо учитывать при подборе состава СУБ, что для получения необходимого объема цементного теста и цементного раствора в составе бетона используют большее количество цемента и песка и меньшее количество суперпластифицирующей добавки (по

сравнению с «классическим» СУБ, в котором присутствуют минеральные добавки) [5].

Добавка модификатора вязкости вводится в бетонную смесь вместе с водой затворения либо после добавления всей воды, необходимой для затворения. Единственное условие – обеспечение достаточного времени перемешивания бетонной смеси после введения добавки. Для изучения влияния модификатора вязкости на технологические свойства СУБ использовали добавку RheMATRIX 100 фирмы BASF, которая полностью совместима с суперпластификаторами серии Glenium. Основным эффектом действия добавки заключается в уменьшении расслаиваемости и повышении однородности бетонной смеси, предотвращении водоотделения для высокоподвижных смесей.

Введение в состав №3 (табл. 4) 0,1 % добавки RheMATRIX 100 от массы цемента и минеральной добавки позволило получить расплыв конуса 730 мм ( $V/(Ц+МД)=0,57$ ), а с блокировочным кольцом 705 мм, при этом бетонная смесь характеризовалась достаточной однородностью.

**Выводы.** В лаборатории ОДО «Жилстрой-2» (г. Харьков) исследовано:

- соотношение различных компонентов и подобраны составы для получения самоуплотняющейся бетонной смеси с применением трех суперпластификаторов различных фирм-производителей со следующими основными показателями: расплывом конуса (растекаемость) – 640-690 мм, временем достижения диаметра расплыва 500 мм – не более 5 сек, временем прохождения через V-образную воронку – 8 сек;
- изучено влияние различных компонентов самоуплотняющейся бетонной смеси на основные технологические показатели самоуплотняющегося бетона.

Доказана возможность производства самоуплотняющегося бетона на местных минеральных материалах для устройства облегченных конструкций.

1. Помазан М.Д. Совершенствование технологии устройства облегченных железобетонных перекрытий: дис. ... кандидата техн. наук: 05.23.08 / Максим Дмитриевич Помазан. – Харьков, 2013. – 187 с. 2. Евстафьев В.И. Облегченные многослойные перекрытия для архитектурно-строительных систем с широким шагом несущих конструкций: дис. ... кандидата техн. наук: 05.23.01 / Вадим Иванович Евстафьев. – Киев, 2004. – 186 с. 3. Мельник І.В. Монолітні плоскі залізобетонні перекриття з пінополістірольними вставками / І.В. Мельник, В.М. Сорохтей, О.О. Кузик [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ena.lp.edu.ua:8080/bitstream/ntb/13057/1/15> 4. Таран В.В. Формирование и выбор конструктивно-технологических решений по устройству монолитных облегченных перекрытий в каркасных зданиях: дис. ... кандидата техн. наук: 05.23.08 / Валентина Владимировна Таран. – Макеевка, 2012. – 170 с. 5. СТО СРО-С 60542960 00050-2015. Основные требования при производстве работ с самоуплотняющимися бетонными смесями. 6. The European Guidelines for Self-Compacting Concrete. Specification, Production and Use, 2005. – 68 p. 7. СТО 70386662-306-2013. Добавки на основе эфиров поликарбоксилатов для изготовления вибрационных и самоуплотняющихся бетонов.